

Fotónica

Algunas consideraciones sobre su desarrollo

En el presente artículo se traza una visión global del panorama fotónico en nuestros días, intentando establecer las pautas de su desarrollo pasado, presente y futuro. Se plantea su fuerte conexión con la Electrónica y se dan algunas líneas posibles de por dónde es posible evolucione. Se estudian los mercados más significativos y cómo de ellos se pueden extraer consecuencias.

José Antonio Martín Pereda

Photonics Some considerations on its development

A general overview of the present photonic technologies is given in this paper. Some considerations about their past, present and future are considered. A strong link between Photonics and Electronics is taken as one of the most interesting points of the present situation. Moreover, based on the market of some photonic areas, certain consequences can be obtained.

Introducción

Hace ahora algo menos de cuatro años, Italo Calvino inició la redacción de una serie de notas que le iban a servir de base para un conjunto de Conferencias que iba a desarrollar en la cátedra de la «Charles Eliot Norton Poetry Lectures», en la Universidad de Harvard. Estas notas quedaron inconclusas por la muerte de su autor pero, lo que se conserva [1], guarda el espíritu de lo que él pensaba podían ser los valores literarios que deberían conservarse en el próximo milenio. Evidentemente, estos valores se referían exclusivamente a la comunicación poética pero por su simbolismo y por lo que tienen de común con el tema que aquí nos ocupa, he creído podían servir de punto de arranque al mismo. Los valores a que se refiere Calvino son: la levedad, la rapidez, la exactitud, la visibilidad y la multiplicidad. Cualquiera que haya, aunque sea medianamente, hojeado lo que suele haber detrás de cualquier estudio que se realice sobre la Fotónica es seguro que le surgirán

de inmediato una serie de imágenes en paralelo con cada uno de los conceptos a que hacía referencia Calvino. Una vez más parece que la poesía y la técnica no andan demasiado separadas y sólo hace falta, de vez en cuando, intentar miraras a ambas al mismo tiempo. Y no sólo eso, también la plástica se mueve conceptualmente hoy por caminos que no son demasiado ajenos a los de las tecnologías más desarrolladas. El sentido de asimilación de todos los conceptos desarrollados hasta hoy, para que puedan ser incorporados armónicamente en una única obra, es el mismo que guía a la mayor parte de la innovaciones que aparecen en el mercado. Así, el estudio de cualquier tema, y en este caso la Fotónica y sus implicaciones presentes y futuras, no debe ser ajeno a ese sentimiento de globalización que unifica los desarrollos de nuestros días.

Parece pues procedente enfocar el objeto de estas páginas desde una perspectiva conceptualmente unificadora. No deben ser los temas fotónicos una isla en medio de una maraña de aguas cada una en una dirección. Ni deben ser las soluciones fotónicas excluyentes de otras. Cada cosa debe tener su fin y este fin puede ser común con el de muchos otros. La aventura de los fotones resolviendo problemas es sólo una parte de un todo que carece de sentido al excluir una de sus partes.

Así, y dentro del espíritu anterior, serán tratados una serie de temas cuya actualidad y futuro está, en parte, plenamente asentado y otros que, por el contrario, son todo dudas de si serán el enfoque correcto o tan sólo una falsa imagen de la verdadera senda. Afortunadamente, ningún esfuerzo que se realice en cualquier sentido suele resultar totalmente estéril. Las historias de la Ciencia y de la Tecnología han dado múltiples ejemplos de acciones emprendidas con fuerza durante un tiempo, olvidadas durante un intervalo más

o menos largo y, finalmente, vueltas a tomar como soluciones a otras dudas surgidas después y que no estaban ni tan siquiera planteadas en la primera fase. El proceso de acumulación global a que se aludía antes no suele ser infructuoso y todo lo que se avanza en una dirección sirve de apoyo en muchas otras.

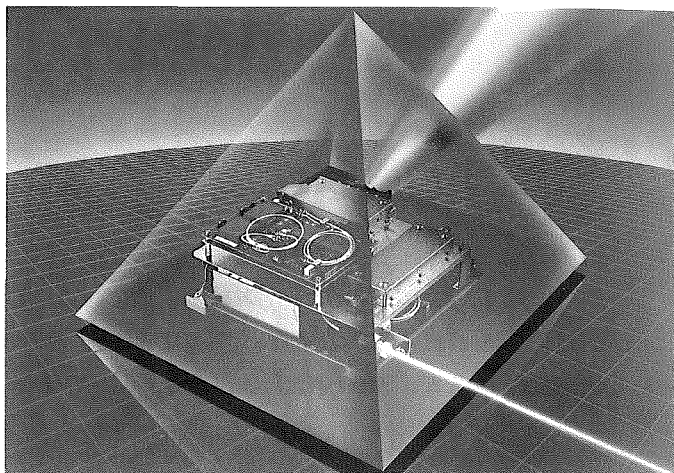
Con todo lo anterior sobre la mesa, y enfrenándonos al verdadero objeto de estas líneas, cabría preguntarse para iniciarlas, cuál es el verdadero sentido que han introducido los conceptos fotónicos en las más recientes tecnologías. Y en paralelo con lo anterior, cuál es la respuesta que han ofrecido a preguntas ya establecidas con anterioridad. De una manera muy sintética, la contestación sería simplemente la de introducir una nueva herramienta que es capaz de resolver con mayor facilidad necesidades que ya estaban planteadas en una fase previa. Pero también, como siempre que se crea una nueva herramienta, independientemente del fin inicial, esta misma herramienta es, a su vez, capaz de crear nuevas necesidades que obligan a dar un paso adelante. El camino más obvio para empezar así a redactar estas páginas sería el histórico: ir avanzando según progresaban las diferentes técnicas y hacer un pequeño balance de resultados. Pero la historia aquí es ya sobradamente conocida, en parte porque han aparecido en los últimos años, en estas mismas páginas, artículos que la iban trazando de forma regular y en parte porque los diarios suelen dar ya de forma cumplida, por fin, noticias más o menos de actualidad sobre el tema. Sobra pues esa fase historiográfica y resta, por el contrario, la puramente tecnológica y cuál es su relación con los aspectos sociológicos que la afectan. Ese será el enfoque que se dará en este artículo.

De los múltiples caminos de la Fotónica

La palabra Fotónica no ha sido universalmente aceptada hasta hace no más de un par de años. A raíz del nacimiento del láser, germen único de toda esta aventura, el término que se acuñó fue el de Electrónica Cuántica. Dado que el origen de todos los procesos con los que se trabajaba era cuántico y siendo la Electrónica un poco como el paraguas en el que se amparaba, no pareció descabellada la introducción del concepto. Durante varios años surgieron revistas y conferencias con ese nombre y en las Universidades más importantes se impartieron cursos con el mismo epígrafe.

Pero una cosa era la Ciencia Básica que había detrás y otra muy diferente la aplicación o aplicaciones que iban surgiendo sobre la marcha. Ya no era sólo el láser el importante sino que también lo eran los múltiples campos en los que se iba empleando. Y más aún, las técnicas complementarias que le acompañaban. Y así fueron surgiendo, según iba pasando el tiempo, términos como Electroóptica, Acustoóptica, Magnetoóptica, Optoelectrónica, etc. Se llegó incluso a presentar el término de Optrónica, especie de contracción del anterior, en franco enfrentamiento con todas las reglas de creación de palabras naturales. En paralelo, otros muchos conceptos y otros muchos campos fueron surgiendo: Procesado Óptico de la Información, Comunicaciones Ópticas, Computación Óptica, etc., al mismo

tiempo que reverdecieron conceptos ya conocidos de la Óptica Clásica, como la Óptica no Lineal y la Holografía, que no habían podido desarrollarse por la falta de una herramienta de trabajo adecuada. La Electrónica, o la Microelectrónica según se prefiera, iban apoyando estos mismos desarrollos con técnicas hoy conocidas



Cortesía Fujitsu.

como la Óptica y la Optoelectrónica Integradas. Todas estas técnicas y todos estos conceptos tenían una cosa en común: siempre estaba el láser detrás de ellas. La necesidad de un nombre común se hacía evidente dada la filosofía unificadora que mantenían. Y este nombre común fue el de Fotónica, que ya parece plenamente asentado.

Parece pues procedente, con la idea de clarificar el término para todos aquellos que se introducen por primera vez en este terreno, hacer una especie de definición del mismo, que pueda servir como referencia para futuras ocasiones.

Esta definición podría ser:

«Conjunto de técnicas y conceptos necesarios para la generación, amplificación, detección, guiado y procesamiento de radiaciones ópticas coherentes, así como las tecnologías y los usos derivados de las mismas».

De una manera quizás un tanto más simple, y quizás también más intuitiva para los profesionales de otras áreas, podría decirse que la Fotónica es el entorno de la Tecnología en el que, mediante fotones, se realizan operaciones análogas a las que, mediante electrones, se hacen en Electrónica.

Y de lo anterior parte uno de los principales errores que se tienen a veces al plantear a la Fotónica como contrapuesta a la Electrónica y destinada a sustituirla en un futuro más o menos próximo. Es cierto que algunas tareas de la Electrónica pueden próximamente ser efectuadas por conceptos fotónicos. Pero eso no quiere decir que algún día todo será óptico y los electrones hayan entonces pasado a desempeñar funciones menos espectaculares que las que están efectuando hoy.

La realidad es que ambas técnicas son complementarias y cada una, por sus propias características, tiene su propia parcela de actuación. De igual manera a como en la actualidad se sigue usando la Electricidad para tareas que se reconocen como absolutamente

propias de ella, aunque estemos viviendo en una era por completo electrónica, en el próximo futuro se aprovechará la Electrónica donde sea más conveniente y, hasta que surjan nuevos conceptos, no podrá ser desplazada por la Fotónica. Quedaría pues intentar encontrar cuáles pueden ser las parcelas propias de cada una de estas técnicas e, introduciéndonos en el momento actual, ver hasta dónde han llegado ya. Esa intentará ser una de las conclusiones de este breve trabajo.

Pero volviendo al tema en el que nos encontramos hace algunos párrafos, parece conveniente intentar hacer una breve síntesis en la que, a raíz de la definición que se ha esbozado de Fotónica, procuremos adentrarnos un poco más en esa multiplicidad que nos está sirviendo de idea orientadora para el presente apartado.

Ya se ha dicho que, de una cierta manera, todo lo que es la Fotónica nació a raíz de la invención del láser y, prácticamente, apenas pueden encontrarse entornos fotónicos en los que éste no esté presente. Porque si hay veces en las que no aparece, como puede ser el caso de las Comunicaciones Ópticas empleando diodos electroluminiscentes (LED), el elemento que está desempeñando sus funciones es una especie de representante directo suyo. Por ello, aunque no esté de forma directa sí lo está de forma conceptual. Por otra parte, y esto ya se ha dicho en otras muchas ocasiones, el láser nació como una solución a la búsqueda de un problema. Sólo con ojear la literatura pueden verse, desde la década de los sesenta, que los problemas que ha intentado resolver han sido innumerables. Y de muchos de ellos han surgido verdaderas líneas de trabajo que han desembocado en actividades completas de la Tecnología. Cada una de ellas sería como una subfamilia dentro de la familia fotónica. De una forma muy sobresimplificada esta familia aparece en la figura 1. En ella se ha partido de una base quizás más finalista, por aplicaciones, que por conceptos en juego. Así, desde el punto de vista de forma de trabajo, los sensores de fibra óptica tienen mucho más en común con las comunicaciones que con, por ejemplo, los sensores ópticos basados en técnicas de Moiré. Pero en esta primera clasificación, ambos estarían incluidos en un mismo grupo.

Por otra parte, en esta misma figura 1, se ha esbozado un intento de conexionar, por relaciones de dependencia, unos campos con otros, así como señalar el apoyo al desarrollo de un determinado sector por parte de otros. Lógicamente, en el esquema presentado

es posible que falten algunos posibles segmentos del entramado fotónico, segmentos que a algunos les pueden parecer los más importantes. También es bastante posible que este esquema sólo sea válido por unos pocos meses y que, en el futuro, haya que cambiarlo de manera drástica. En un futuro que, con toda certeza llegará muy pronto, porque como decía Nick Carraway «Tomorrow we will run faster, stretch out our arms further...» [2]. En cualquier caso, si sirve de base para uno posterior más elaborado, habrá cumplido su función.

De la rapidez del desarrollo fotónico

Todo producto que aparece en el mercado ha seguido siempre, de forma habitual, un conjunto de etapas que constituyen ya casi como las reglas de penetración en la sociedad [3]. A una primera fase de pura Investigación Básica sigue siempre otra de Investigación Aplicada en la que ya aparecen unos ciertos objetivos más orientados; ambas constituyen algo así como la niñez y la primera adolescencia de una Tecnología. Pasadas éstas se llega a la etapa de Desarrollo en la que se percibe una notoria disminución de la producción científica, conjuntamente con una especie de impaciencia por encontrar aplicaciones realistas que puedan dirigirse hacia un entorno más o menos amplio del mercado. La tercera etapa es la que constituye la entrada en proceso de producción de los productos desarrollados en la anterior: desaparece el interés por el componente aislado y se coloca el énfasis en el sistema o en el subsistema. Se han detectado ya segmentos diferenciados de mercado en los que la introducción del nuevo producto puede, bien abaratar los costes o bien, proporcionar nuevas prestaciones: las compañías interesadas comienzan a surgir y otras áreas tangenciales inician actividades paralelas. La última fase suele ser la de madurez, en la que ya nos encontramos en una economía de escala y en la que suelen ser necesarias altas inversiones para conseguir avances más o menos significativos; las Universidades han incorporado ya en sus currícula programas con dicha tecnología e incluso pueden llegar a aparecer Facultades o Escuelas centradas exclusivamente en ella. A modo de recordatorio, el caso de la Electrónica puede verse ha ido siguiendo un camino como el indicado.

¿Cuál es la situación de la Fotónica? Evidentemente ya pasó su etapa de niñez y de adolescencia. Desde 1954, año en el que apareció el primer máser de amoníaco y que puede considerarse como el nacimiento de la Electrónica Cuántica, hasta 1960, en que lo hizo el láser de rubí, se asentaron las bases teóricas de todo su desarrollo posterior. Apenas aparecieron oportunidades reales para grandes inversiones en el mercado y la mayor parte de los trabajos se desarrollaron con fondos de los gobiernos sensibles a la nueva técnica. La instrumentación científica fue la que más se aprovechó de esta fase dada la avidez de los investigadores por encontrar y demostrar nuevos conceptos y, quizás, el único segmento del mercado que se benefició fue el de componentes, materiales y dispositivos, vendidos a aquellos interesados en el desarrollo de nuevos tipos de

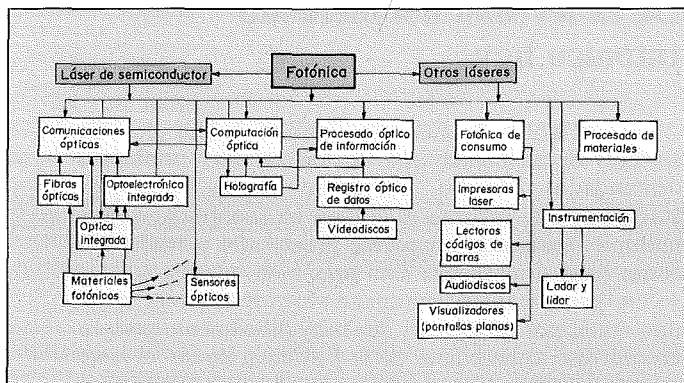
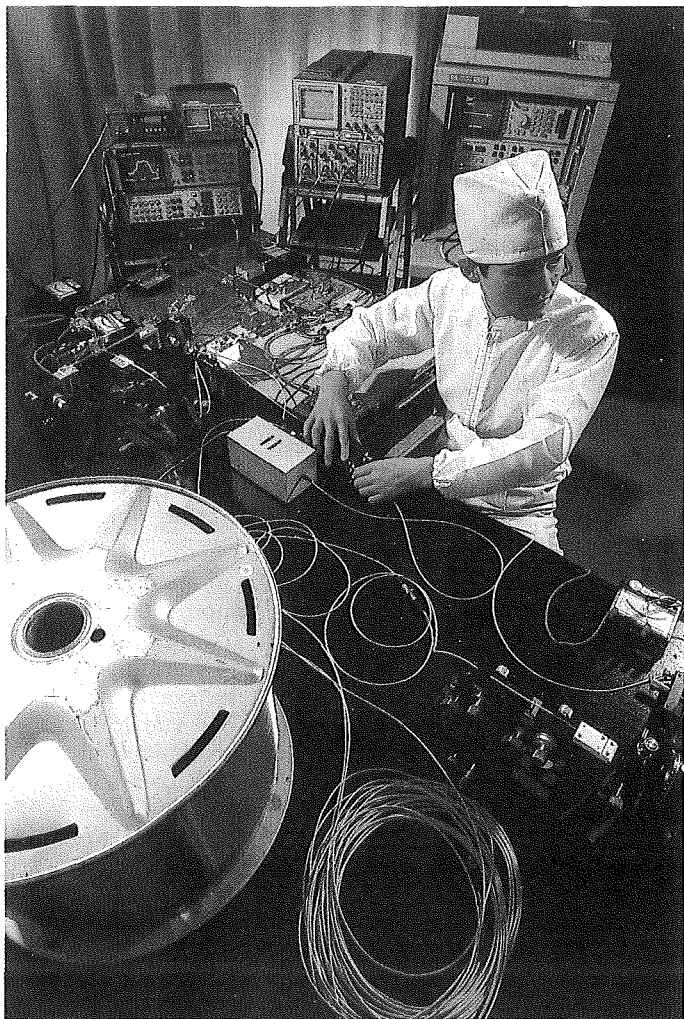


Figura 1. Actividades de la Fotónica.



Cortesía NTT.

láseres. Prácticamente, la mayor actividad se originó en los Departamentos de Química-Física y de Física siendo los cursos de postgrado los que incluyeron conceptos fotónicos en sus contenidos. La mayor atracción de todos los profesionales fue la de intentar trasladar al entorno de la óptica todos los conceptos que ya se habían desarrollado para las regiones de las microondas y de la radio. Podría decirse que la mayor parte de los conceptos e ideas básicas que luego se han desarrollado surgieron en la década de los sesenta, poco después del nacimiento oficial de la primera Fotónica.

A la etapa anterior siguió una que casi ha durado dos décadas y que ha ocupado a los setenta y parte de los ochenta. Ha sido la etapa de Desarrollo. La producción científica disminuyó considerablemente y comenzó la batalla por el mercado. Como se dijo muchas veces, y ya es una frase superconocida, «el láser era una solución a la búsqueda de un problema». Sus partidarios afirmaban que casi todo era posible resolverlo con ayuda del láser. Ya hemos visto después que las esperanzas no eran tan realistas como parecían y, muchas veces, intentar resolver algo fotónicamente ha dado más problemas que el intento de solución por otro camino. Pero uno de los hechos que quedó claro según se llegaba a la década de los ochenta es que la Electrónica y la Fotónica no estaban en oposición de intereses y ni siquiera mantenían reductos propios de

actuación. Ambas eran casi complementarias y los desarrollos de la una influían notoriamente en los de la otra. De hecho, y esto es algo que comienza a apreciarse ahora, las mayores oportunidades de mercado surgían cuando ambas actuaban conjuntamente resolviendo un mismo problema. Fue entonces cuando la palabra Fotónica fue gestada y apareció el nombre en alguna que otra revista científica. Las aplicaciones de ser casi puramente militares o de investigación, como eran en la primera etapa, pasaron a estar más orientadas a los mercados tradicionales.

Y nos encontramos ahora en la tercera de las fases que se planteaban anteriormente, la de producción. La consecución de nuevos productos, no ya componentes o materiales como antes, con prestaciones más claras y dirigidos a líneas definidas es ya usual en este entorno. Se han establecido grandes consorcios en torno a productos netamente demandados por la sociedad e incluso, en algunos casos, han llegado a tener un nivel de actividad equiparable con el de otros sectores más tradicionales. Entre éstos se podrían citar, por ejemplo, el de las Telecomunicaciones, el del Consumo (con los audiodiscos como caso significativo) o el del Procesado de Materiales. En todos ellos la Fotónica tiene ya un puesto asegurado, al menos por un tiempo, y su forma de operación en muy poco se diferencia de la de otras técnicas. Las Universidades han iniciado la introducción, en sus currícula más básicos, de conceptos fotónicos y la palabra Fotónica empieza a ser casi conocida de todos.

Queda la fase final que se anunciaba al principio de este apartado y que aquí aún no ha llegado. Queda la formación, si es que llega a ser así, de un pequeño número de grandes compañías que cubran casi todo el mercado, pero cuyas características serán, casi con toda seguridad, bastante diferentes a las que hoy tienen los actuales fabricantes. El mercado mundial que constituye hoy el objetivo de cualquiera de estas nuevas técnicas obligará a unas estrategias claramente alejadas de lo que fueron las de los tiempos análogos de tecnologías previas. Y, asimismo, obligará a que cada país intente localizar aquella porción de la tarta que permita desarrollar una cierta actividad propia, tanto desde el punto de vista de investigación como de desarrollo o de producción. El costo de cualquiera de estas porciones será ya tan alto que muy difícilmente podrá realizarse de forma conjunta con otras líneas de trabajo.

De la levedad del mercado fotónico hoy

Hablar de mercados implica hablar más de sectores de demanda que de los propios productos demandados. Por ello, aunque uno de los principales actores de este entorno es el láser en cualquiera de sus múltiples variantes, no parece procedente ponerle a él como línea orientadora sino más bien que sea sólo el secundario que interviene cuando lo pide el guión. Ya se dijo antes, por otra parte, que muy difícilmente podrán encontrarse aplicaciones de la Fotónica donde el láser no esté presente. El paralelismo que surge de inmediato es con el conjunto de los dispositivos semiconductores

activos (transistores, CI, etc.). Podría hablarse de cuál es su número de ventas, pero esto nos aclararía poco; lo natural es estudiar a qué sectores se dirigen esas ventas (consumo, radio, ordenadores, etc.). Aquí nos encontramos en el mismo caso. Son interesantes los valores absolutos, pero lo son más los valores relativos dentro de cada sector ya que estos números pueden permitir estudiar las tendencias del mercado y hacer un conjunto de posibles previsiones para el futuro. O al menos poder intentarlo.

Y así, con esa idea, y como árbol surgido del tronco común del intento de resolver problemas que era el láser, nos encontramos con un conjunto de aplicaciones inmediatas cuyos bloques más significativos son:

Procesado de materiales, Terapia y Diagnóstico médicos, Investigación y Desarrollo, Impresoras, Comunicaciones, Memorias ópticas, Lectura por código de barras, Alineamiento y Control, Medidas y, finalmente, Sector de Entretenimiento.

Casi todos los láseres han tenido, o tienen, algo que decir en cada uno de esos segmentos. Como es lógico, la incidencia de cada uno de ellos ha sido muy diferente dependiendo del momento considerado, por lo que sólo nos vamos a ceñir al momento presente y a cuáles son las perspectivas para el año 1989. En la tabla 1 [4] aparece el número de unidades vendidas en el año 1988 y el esperado en 1989, de acuerdo con el tipo de láser y la aplicación considerada. En la tabla 2 se hace

	<i>CO₂</i>		<i>Estado Sólido</i>		<i>Iónicos</i>	
	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>
Proceso materiales	1850	2050	1200	1290	65	90
Medicina terapéutica	1500	1650	1400	1435	2700	3000
Diagnóstico médico	0	0	0	0	1370	1800
I+D	450	475	900	1000	1200	1400
Impresoras	0	0	0	0	5000	5000
Separación de color	0	0	0	0	4500	4200
Comunicaciones	0	0	0	0	0	0
Memorias ópticas	0	0	0	0	200	200
Lect. código barras	0	0	0	0	0	0
Alineamiento y control	0	0	0	0	0	0
Medidas	30	35	100	200	275	350
Entretenimiento	0	0	0	0	475	500
Totales	3830	4210	3600	3925	15785	16540

	<i>Diodos</i>		<i>Helio-Neón</i>		<i>Colorante</i>	
	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>
Proceso materiales	0	0	0	0	0	0
Medicina terapéutica	1.464	0	3.500	4.000	200	250
Diagnóstico médico	0	0	12.000	13.000	70	75
I+D	13.704	13.000	18.000	20.000	900	975
Impresoras	4.100.000	5.500.000	40.000	40.000	0	0
Separación de color	0	0	500	600	0	0
Comunicaciones	154.000	234.000	300	300	0	0
Memorias ópticas	14.192.000	18.619.000	0	1.000	0	0
Lect. código barras	150.000	300.000	150.000	225.000	0	0
Alineamiento y control	14.000	19.000	9.700	12.000	0	0
Medidas	5.675	5.000	38.000	42.000	10	15
Entretenimiento	0	0	2.800	3.000	25	25
Totales	18.630.843	24.690.000	274.000	360.900	1.205	1.340

	<i>Excímeros</i>		<i>Helio-Cadmio</i>		<i>Total por aplicaciones</i>	
	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>
Proceso materiales	40	60	0	300	3.160	3.790
Medicina terapéutica	20	40	0	0	10.784	10.375
Diagnóstico médico	0	0	70	100	13.510	14.975
I+D	352	353	500	575	36.006	37.778
Impresoras	0	0	500	600	4.145.500	5.545.600
Separación de color	0	0	50	30	5.050	4.830
Comunicaciones	0	0	0	0	154.300	234.300
Memorias ópticas	0	0	300	150	14.192.500	18.620.350
Lect. código barras	0	0	0	0	300.000	525.000
Alineamiento y control	0	0	800	850	24.500	31.850
Medidas	0	0	400	450	44.490	48.050
Entretenimiento	0	0	0	0	3.300	3.525
Totales	417	453	2.620	3.055	18.933.100	25.080.400

Tabla 1. Ventas mundiales de láseres comerciales en unidades. (Fuente: Laser Focus World, Enero 1989.)

	CO ₂		Estado sólido		Iónicos	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Proceso materiales	92,5	104,7	49	52,6	2,6	2,0
Medicina terapéutica	21	22	30	30,8	32	36
Diagnóstico médico	0	0	0	0	11,2	14
I+D	9,5	10	31	35	34	41
Impresoras	0	0	0	0	7,5	7,5
Separación de color	0	0	0	0	10,5	10
Comunicaciones	0	0	0	0	0	0
Memorias ópticas	0	0	0	0	2,0	2,0
Lect. código barras	0	0	0	0	0	0
Alineamiento y control	0	0	0	0	0	0
Medidas	0,4	0,46	2,0	4,0	4,0	5,1
Entretenimiento	0	0	0	0	6,5	6,8
Totales	123,4	137	112	122,4	110,3	124,4

	Diodos		Helio-Neón		Colorante	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Proceso materiales	0	0	0	0	0	0
Medicina terapéutica	0,7	0	0,6	0,72	2,4	2,8
Diagnóstico médico	0	0	2,7	2,8	0,7	0,75
I+D	20,0	20,0	7,2	7,9	17	18,5
Impresoras	23,0	22,0	15	15	0	0
Separación de color	0	0	0,2	0,2	0	0
Comunicaciones	70	75	0,15	0,8	0	0
Memorias ópticas	50	68	0	0,08	0	0
Lect. código barras	6,0	14,0	12,6	15	0	0
Alineamiento y control	0,17	0,20	0,78	1,26	0	0
Medidas	10,0	12,0	10,0	11,0	0,2	0,3
Entretenimiento	0	0	1,3	1,4	0,25	0,25
Totales	180	211	50,5	56,2	20,5	22,6

	Excímeros		Helio-Cadmio		Total por aplicaciones	
	1988	1989	1988	1989	1988	1989
Proceso materiales	2,6	3,5	0	3,0	146,7	165,8
Medicina terapéutica	1,0	2,4	0	0	87,8	94,7
Diagnóstico médico	0	0	0,35	0,5	15	18
I+D	20,0	21,0	3,0	5,7	141,7	159
Impresoras	0	0	1,0	0,5	46,5	45
Separación de color	0	0	0,2	1,2	10,9	11,4
Comunicaciones	0	0	0	0	70,1	75,8
Memorias ópticas	0	0	1,5	0,9	53,5	71
Lect. código barras	0	0	0	0	18,6	29
Alineamiento y control	0	0	5,0	5,3	5,9	6,9
Medidas	0	0	2,1	2,3	28,7	35,2
Entretenimiento	0	0	0	0	8	8,4
Totales	23,7	26,9	13,15	19,4	633,5	720

Tabla 2. Ventas mundiales de láseres comerciales en millones de dólares. (Fuente: Laser Focus World, Enero 1989.)

referencia a los datos equivalentes pero traducidos a los millones de dólares movilizadas. Varias son las consecuencias inmediatas que pueden inferirse de dichas tablas. Una de las más significativas es el fuerte impulso que ha recibido el número de láseres de semiconductor vendidos, y todo gracias a su empleo en memorias ópticas y en impresoras. A pesar de ello, el mayor incremento relativo parece se dará en el campo de las comunicaciones, hecho que parece lógico. Es curioso, a su vez, hacer notar que, aunque se incrementa en más de un millón el número de láseres previstos vender en 1989, con respecto a 1988, para su empleo en impresoras, el número de millones de dólares que se prevé se pondrán en juego disminuirá ligeramente. Esto

también es lógico dado el abaratamiento de precio por unidad ante el gran número fabricado.

Por otra parte, la mayor envergadura en cifras económicas manejadas es la relativa a láseres de CO₂ empleados en procesamiento de materiales. Y aquí pueden hacerse también una serie de consideraciones al respecto. Como puede apreciarse de la tabla 1, las previsiones son que en el presente año se incrementen las ventas en unidades en un 20 %, mientras que el incremento en millones de dólares será sólo del 13 %. La justificación de este resultado es la dificultad extrema de este entorno que le hace ser el más sensible a todas las vacilaciones económicas de un país; cualquier alteración de la marcha económica de éste repercutirá de manera

inmediata sobre la industria y, consecuentemente, sobre los posibles planes de modernización que se tengan. La lucha por conseguir un puesto en el mercado es, por tanto, muy dura. A pesar de ello, es un sector que se puede mirar con un cierto optimismo ya que el número de industrias que están incorporando láseres a sus métodos de producción se incrementa día a día. Los tres grupos que están avanzando a mayor rapidez son, por el momento, el de marcado, el del automóvil y el de la industria electrónica. El segundo puede que llegue a ser el más importante, con unas previsiones que le hacen ponerse en torno al 22 % de todo este segmento.

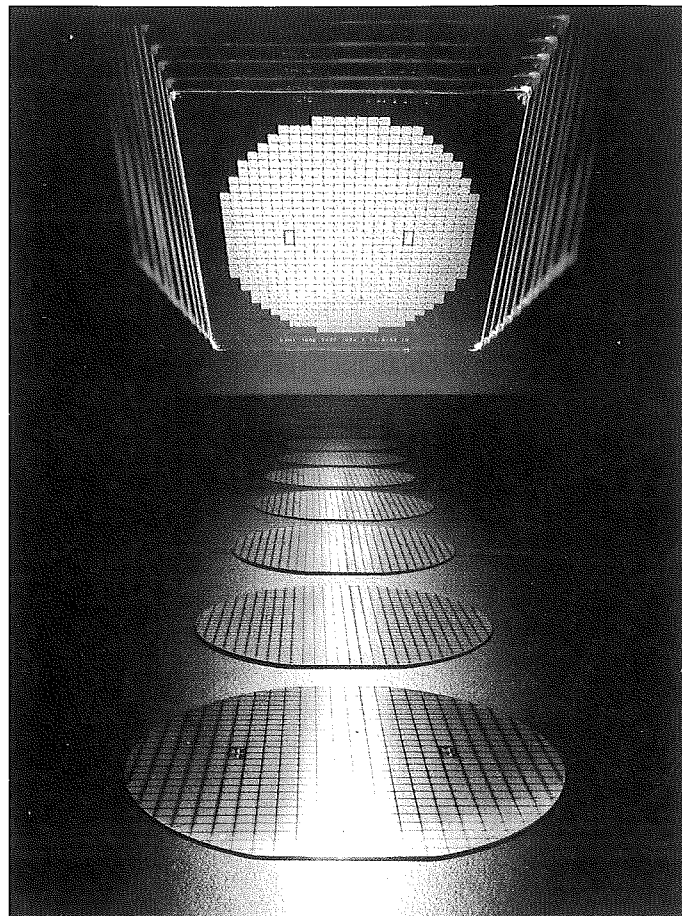
Un análisis resumido de todo lo anterior aparece en la tabla 3, donde se dan, en valores absolutos, las cifras de venta de láseres, según los diferentes tipos, entre los años 1987 y 1989 (previsto). El mayor incremento se produce en los láseres de He-Cd, lo cual es normal dada su relativa novedad en el mercado. Dejando aparte este grupo, el siguiente sector en aumento es el previsible de los láseres de semiconductor, lo cual da una idea de hacia a dónde van los intereses más significativos de la Fotónica hoy.

<i>Tipos de láseres</i>	<i>1987</i>	<i>1988</i>	<i>1989</i>
Dióxido de carbono	114 (+ 3 %)	123 (+ 8 %)	137 (+ 11 %)
Estado sólido	97 (+ 7 %)	112 (+ 15 %)	122 (+ 9 %)
Iónicos	91 (+ 16 %)	110 (+ 21 %)	124 (+ 13 %)
Diodos	151 (+ 11 %)	180 (+ 19 %)	211 (+ 17 %)
Helio-Neón	49 (+ 14 %)	59 (+ 4 %)	56 (+ 10 %)
Colorante	18 (+ 13 %)	21 (+ 17 %)	23 (+ 10 %)
Excímeros	22 (0,0 %)	24 (+ 9 %)	27 (+ 13 %)
Helio-Cadmio	7 (0,0 %)	13 (+ 86 %)	20 (+ 54 %)
Total	549 (+ 9 %)	633 (+ 15 %)	720 (+ 14 %)

Tabla 3. Venta de láseres por modelos en millones de dólares.
(Fuente: Laser Focus World, Enero 1989).

A pesar de los resultados anteriores, y de la imagen elemental que sale de estas cifras, de que la industria de los láseres está en un buen momento, la realidad es bastante diferente. Muy pocas compañías han sido capaces de tener unos resultados realmente favorables y podría decirse, como ha sido apuntado por algún comentarista, que las industrias del láser son una paradoja de «prosperidad sin provecho apreciable». La razón de lo anterior es que esta industria está superpoblada y existen demasiados participantes, grandes y pequeños, en un mercado mundial que sólo alcanza a unos 633 millones de dólares al año. Como ejemplo de la situación actual podría plantearse el hecho de que, por ejemplo, en 1984 existían en Estados Unidos 22 fabricantes de láseres para Oftalmología, mientras que en la actualidad sólo son siete. Y esto mismo ocurre en muchos otros campos.

Uno de los remedios que parece se han empezado a poner en práctica es el de la fusión de compañías o la compra de unas por otras. Así, en los últimos meses se ha producido un proceso que ha sido designado como de «perestroika» o reestructuración del sector [5], por el que, por ejemplo, Quantronix ha adquirido Control Laser, Amoco lo ha hecho con



Cortesía Austria Mikro Systeme.

XMR, e igual ha pasado con J. Bibby que ha comprado Melles Griot y Siemens que se ha hecho cargo de la División de Láseres Industriales de Spectra-Physics, entre otros. Evidentemente, esto sólo no es la solución pero da una idea de cómo está el entorno.

Todo lo anterior plantea un gran número de preguntas cuya respuesta debería incidir de manera directa sobre los planteamientos a efectuar por cualquiera que pretendiera introducirse hoy en este mercado. Uno de los hechos más claros es que muy difícilmente podrá encontrarse una parcela en la cual la competencia permita una vida cuando menos tranquila. Otro es que las inversiones que pueden ser precisas para el arranque han dejado de ser ya las de hace unos años y empiezan a situarse dentro de niveles equivalentes a los de la industria microelectrónica tradicional. Esto, en principio, para el mercado puro de láseres. Pero, ¿cuál es la situación en los otros mercados fotónicos?

Y la situación no es muy diferente. Como ejemplo, quizás el más significativo, podemos centrarnos ahora en el de las Comunicaciones Ópticas que, por su importancia actual y futura, merece una consideración especial, y más en concreto en el de las fibras ópticas. Según John N. Kessler, [6] en la Sesión de apertura de la 11 Annual Newport Conference on Fiber Optics Markets, el pasado octubre de 1988, el mercado de fibras en los Estados Unidos tendrá un crecimiento de alrededor de un 31 % en 1989, alcanzando la cifra de casi mil millones de dólares. A partir de esa tendencia, y de los datos ya conocidos de 1988, la

situación que se presenta es la que puede verse en la figura 2. En ella se da el reparto entre los varios sectores, para 1988 y para 1990. Como puede apreciarse, el mercado de la telefonía muestra una notoria tendencia a la baja mientras que el de comunicaciones de datos ofrece la tendencia opuesta. En cualquier caso, las perspectivas que aparecen son bastante optimistas. Una muestra de ello es el gran número de compañías que se han consolidado y el de las que han aparecido. Los quesos de la figura 2 parece pueden dar de comer aún a bastantes comensales. Y uno de los puntos básicos que han soportado esta situación es el de la aparición de nuevos tipos de fibras, hecho impensable hace diez años. Otro es el de la expansión en el mercado de los equipos de comunicaciones de datos. Y finalmente, y éste es otro hecho realmente importante, el acercamiento de la fibra desde el bucle de abonado hasta la propia mesa de despacho. De acuerdo con los mismos datos de Kessler, la proyección de todo lo anterior para los años 1988, 89 y 90, aparece en la tabla 4. En ella se aprecian todo un conjunto de hechos muy significativos. Un análisis de los mismos nos es útil dado su carácter de avanzadilla a lo que se nos avecina, primero en Europa y luego en nuestro país. En primer lugar, como ya se lleva muchos años pronosticando, el mercado de la larga distancia está llegando a su saturación. En EE.UU. parece que 1990 puede ser el año del inicio de su caída. Dado que en nuestro país se ha iniciado el camino bastantes años más tarde, es posible que esto ocurra aquí unos tres o cuatro años después. Por otra parte, y como ya se ha dicho antes, el principal aumento se dará en el área de las comunicaciones de datos. Otros sectores como el de bucle de abonado, parece crecerán de una forma estable. Es interesante señalar también el profundo hundimiento que se intuye sufrirá el segmento del cable submarino, tras el aumento previsto para 1989.

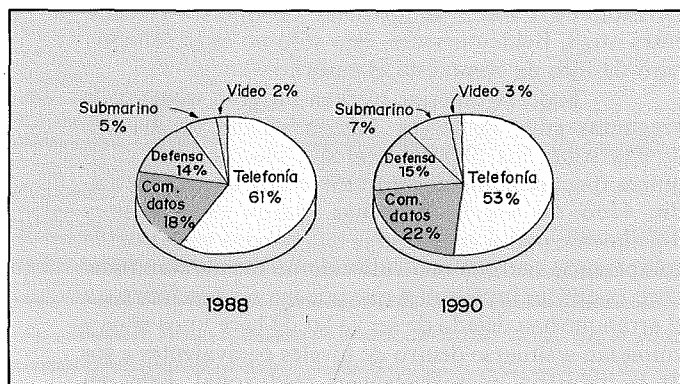


Figura 2. Mercado de fibras ópticas en Estados Unidos. Fuente: KMI.

Y mientras esto sucede en EE.UU. convendría preguntarse por lo que ocurre en Europa. Y Europa sigue siendo, sobre todas las cosas, el gran mercado al que americanos y japoneses miran con ojos ansiosos. La situación, a pesar de la carencia de grandes fabricantes, no es ni fácil para éstos ni cómoda para los europeos. No parece éste el momento de hablar de este tema, dado su carácter más político que técnico, pero lo que sí conviene señalar es que el mercado potencial que se presenta en nuestro continente es muy apreciable y, en consecuencia, merece ser considerado con gran aten-

	1988	1989	1990
Larga distancia	126.978	127.990	52.366
Interoficinas	71.906	56.722	42.722
Corta distancia	202.756	213.086	185.610
Bucle de abonado	63.885	113.469	265.254
Submarino	35.312	158.289	75.895
Com. Datos	138.891	179.879	224.947
Defensa	105.010	126.337	159.771
Vídeo	18.616	23.810	32.159
Total	763.354	999.582	1.038.724

Tabla 4. Mercado de Estados Unidos de fibras ópticas (en miles de dólares). (Fuente: KMI)

ción. Los principales protagonistas de este juego aparecen retratados en la tabla 5. En ella puede apreciarse que España figura en quinto lugar por número de kilómetros instalados durante el año 1988 y que su potencialidad de crecimiento hasta 1992 es el más alto de todos los países del entorno de la CE. Únicamente el conjunto de los países que no figuran en esta tabla, poseen un ritmo de crecimiento superior al nuestro. Esto no es de extrañar, dada la situación en que nos encontramos, pero lo que sí parece importante es que, creo que por vez primera, aparece España en un lugar en el entorno europeo, el quinto, que por casi todos los factores que se consideren es el que le debería corresponder.

La repartición de este mercado, entre los grandes segmentos que lo componen, aparece en la figura 3. Como se aprecia, la Telefonía sigue siendo, en 1988, la reina de la fiesta, y dentro de ella, el bucle de abonado se lleva la mejor parte seguida de la de la larga distancia. Las cosas serán ligeramente diferentes hacia 1992, tendiendo a acercarse a una situación equivalente a la americana, con el mercado de Comunicaciones de Datos en claro aumento a costa de la Telefonía a larga distancia.

Hay en todo lo anterior una clara componente que no puede por menos de hacerse aflorar: el mercado de las Comunicaciones Ópticas no es algo que mantenga una posición estable durante un plazo más o menos largo. Cualquier política de producción que se intente

	Fibras (km)	Mercado (dólares USA)	Crecimiento relativo (%) (1987-1992)
U.K.	265.560	224.951.094	17
F.R.G.	135.956	224.101.505	4
Francia	117.044	199.731.803	15
Italia	90.000	68.632.126	17
España	32.000	37.397.763	30
Suecia	26.360	21.643.919	11
Noruega	14.690	16.537.565	7
Dinamarca	11.464	16.502.963	23
Suiza	10.110	20.444.968	27
Holanda	9.650	15.735.666	18
Finlandia	9.120	9.411.633	27
Bélgica	7.340	9.530.408	23
Irlanda	4.680	7.295.484	9
Islandia	3.639	4.399.402	-11
Austria	1.898	4.814.169	24
Otra Europa	23.460	46.551.170	44

Tabla 5. Mercado europeo de fibras ópticas (1988). (Fuente: Laser Focus World, Febrero 1989).

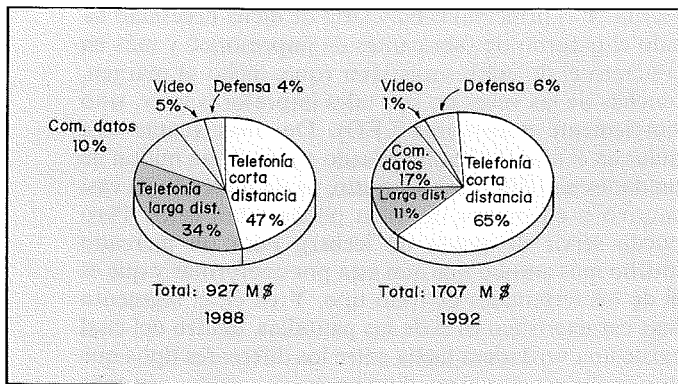


Figura 3. Mercado de fibras ópticas en Europa.
Fuente: KMI.

tomar ha de hacerse con un margen de riesgo muy alto. Como en la mayor parte de las tecnologías equivalentes, aparecen épocas de crecimiento sostenido que no tardan mucho en decaer. Sólo queda, en consecuencia, mantener en constante aumento el número de áreas en las que estas técnicas van introduciéndose. O lo que es lo mismo, mantener el ritmo de crecimiento de los servicios que vayan surgiendo. Sólo cuando el precio de las conexiones por fibra óptica comiencen a ser equivalentes a las actuales por cobre podrá decirse que el mercado se encontrará en una situación aproximadamente estable. Hasta entonces, las políticas de las correspondientes administraciones nacionales o transnacionales serán las únicas que puedan influir de manera significativa sobre el desarrollo del sector.

Quedan otros mercados y otros sectores que sería interesante considerar aquí, pero la estrecha panorámica que se ha presentado en dos de los más significativos, puede dar una idea de cuál es la problemática general del sector. Sector que, como se ha dicho antes, se encuentra en una situación poco clara en lo que se refiere a perspectivas estables de desarrollo lineal mantenido. Su forma de actuar es más bien a base de escalones discretos que están siempre pendientes de una nueva aplicación o un nuevo desarrollo para saltar al siguiente. Pero ni las aplicaciones ni los desarrollos son algo que se puedan prever con la suficiente antelación como para establecer una línea segura de trabajo. Todo nuevo nicho puede quedar ocupado nada más nacer o puede ser lo suficientemente pequeño como para que sólo dé cobijo a un par de firmas de tamaño no muy grande. Desde que nació la Fotónica siempre se dijo de ella que era una tecnología con futuro. Siempre se pensaba que había nacido con el pan debajo del brazo. Ambas cosas son ciertas: siempre, al menos por un tiempo, habrá sitio para ella, pero siempre, también, el pan que trae bajo el brazo va pasando a velocidad increíble de unas manos a otras.

De los visibles nuevos sectores

Sería conveniente acabar esta panorámica de la Fotónica con un breve resumen de aquellos entornos que, es posible, vean una mayor actividad en los próximos años, tanto desde un punto de vista puramente de investigación básica como de aquellos otros, ya introducidos en el mercado, que adquirirán un mayor

empuje. Y para ello habría que volver a la figura 1 en la que se esbozaron algunas de las áreas más significativas por las que la Fotónica se mueve. Como también se ha dicho, no todas ellas se encuentran en el mismo nivel de desarrollo. Muchas ya tienen casi veinte años de vida, mientras que otras aún no han pasado de la fase de laboratorio. Además, en algunos casos, y en estas mismas páginas, ya se ha trazado con mayor o menor éxito la situación en que se encontraban un cierto número de ellas. En concreto, no parece indicado volver sobre las Comunicaciones Ópticas dado que hace escasos meses [7] se trató este tema. Pero sí parece conveniente, por el contrario, incidir sobre un área muy estrechamente ligada a ellas pero que todavía es objeto de una amplia controversia. Este tema no es otro que el de la computación óptica.

Computación óptica

Durante mucho tiempo una de las preguntas más comunes al referirse a ella era la de que cuándo tendríamos en las manos el primer ordenador óptico. A la vista de los resultados actuales la respuesta que se podría dar estaría, además de impregnada por completo de azar, tan llena de inseguridad como de vaguedades. Y quizás el primer problema que se plantea es el de que el concepto de Computación Óptica tiene todavía un significado tan múltiple como interlocutores existan. Para unos se trata de resolver complicados problemas, por métodos ópticos, que los computadores electrónicos serían casi incapaces de resolver en corto tiempo. O dicho de otra manera, sustituir a las grandes máquinas actuales por otras ópticas que hicieran todo mucho más rápido y más sencillo. Para otros, por el contrario, se trata tan sólo de realizar ópticamente algunas operaciones de los actuales ordenadores que puedan llevarse a cabo mejor con técnicas fotónicas. En el primer caso se trata de una empresa de carácter global mientras que en el segundo es sólo una parcelación sectorial de tareas. El hecho real es que por el primer camino se trata de conseguir un fin último, mientras que por el segundo de obtener unos resultados intermedios. El primero sería ciertamente la Computación Óptica mientras que el segundo es tan sólo una mezcla de conceptos.

La situación actual del área es bastante difusa. Existen grupos en todo el mundo trabajando en ella pero no aparece una línea clara de actuación. Quizás es que aún no se ha encontrado la filosofía característica de trabajo, o que aún no están operativos los materiales más idóneos, o que el dispositivo fundamental, a la manera del triodo de los primeros ordenadores, todavía no se ha encontrado. El hecho cierto es que los partidarios del primero de los dos caminos a que se aludía antes no acaban de ponerse de acuerdo en casi nada. Unos intentan desarrollar métodos fotónicos para realizar arquitecturas propias de los ordenadores electrónicos y otros tratan de encontrar filosofías fotónicas mediante la vuelta a técnicas clásicas de Óptica. Por ambos caminos se ha llegado a la conclusión de que es absurdo hacer ópticamente lo que ya se hace perfectamente con la Electrónica. Los sistemas fotónicos que intentan replicar a los electrónicos son mucho más grandes y consumen más energía que éstos. Seguir por ese camino es, pues, absurdo.

Pero queda un hecho que es el que salva a la Fotónica. Es la ventaja del paralelismo inherente a la Óptica. Los haces de fotones se pueden aquí cruzar sin que existan problemas de cortocircuitos como con los electrónicos. Esto es lo único que puede salvar a los Computadores Ópticos. Pero para desarrollarlos es necesario buscar las arquitecturas que sean propias de ese nuevo concepto. No se pueden repetir las de los actuales ordenadores.

Y algunas otras técnicas, ya conocidas de la Óptica previa, están ayudando a encontrar ese camino. Una de ellas es la holografía.

Holografía

Tradicionalmente empleada más como instrumento decorativo que como tecnología de base, sólo muy recientemente se ha empezado a encontrar en ella una cierta consistencia con lo que se decía hace ahora algo más de una década. Su empleo en técnicas de análisis de vibraciones mediante interferometría, o como memorias masivas para un posterior reconocimiento de imágenes, no llegó a pasar de unos límites muy estrechos y, por ello, su incidencia sobre los grandes mercados fotónicos fue siempre bastante reducida.

Ahora parece, por el contrario, que la Computación Óptica, si realmente progresa por los caminos que hoy parecen trazados, puede darle una nueva revitalización. De hecho, es la herramienta más poderosa con la que se cuenta para poder realizar ese procesado en paralelo que es el objetivo y la vía natural de los ordenadores ópticos. Existen aún bastantes problemas que habrán de ser solventados antes de que pueda hablarse de algo tangible. Como por ejemplo el que, con las configuraciones tradicionales de montaje óptico hoy usadas, va a ser muy difícil el que pueda llegarse a sistemas operativos «todo terreno». Tal y como aparecen los montajes hoy, son perfectos para trabajar en entornos de laboratorio. Pero llevarlos a la vida diaria, donde puedan ser usados por personal totalmente inexperto en estas técnicas, sería un suicidio. Hace falta dar un paso en ese sentido pero parece que no existen indicios de que se vaya a dar en breve plazo. Este es un entorno que permanece aún abierto. Y más desde la pujante y reciente aparición de las redes neuronales, cuya importancia merece un tratamiento específico que aquí no podemos darle.

Por el contrario, un sector en el que las cosas están ya bastantes claras y en el que la Fotónica parece tiene ya asignado un papel bastante claro es el de las Tecnologías de la Información y más en concreto en el de impresoras y pantallas.

Impresoras y pantallas

La puesta en marcha de la automatización de las oficinas no ha supuesto la eliminación de las tradicionales toneladas de papel generadas día a día sino, por el contrario, un considerable incremento de éstas. Es de dudar que se haya progresado en la misma relación en el nivel de lectura pero el hecho real es que parece que se necesita, día a día, más información

escrita. Y el principal beneficiario de dicha necesidad ha sido el entorno de fabricantes de impresoras, y más en concreto el de impresoras láser (que, dicho al margen, muchas de las veces no son tales impresoras láser, sino simplemente impresoras LED). De unas ventas casi nulas en el año 1983 se ha pasado a más de un millón de unidades en 1988. Este, es cierto, es un mercado ya casi cautivo y en manos de unos pocos fabricantes. Pero puede servir de punta de iceberg para un mercado mucho más amplio que aún está por conformar y que es el de los terminales de todo tipo. Y en él, el segmento más característico es el de las pantallas, dentro del cual existe una verdadera lucha entre los diferentes tipos que aún compiten por el producto más elaborado, con más prestaciones, con más calidad y, en consecuencia, con una venta más segura. La lucha entre las diferentes variantes de pantallas basadas en cristal líquido está en su punto más álgido. Las de descarga, por otro lado, siguen estando presentes. Y así, en el panorama que se atisba hay como una sensación de que todavía queda algo por hacer. Y en consecuencia, expectativas de futuro. Este tema también será tratado en breve, en estas mismas páginas, con más detalle.

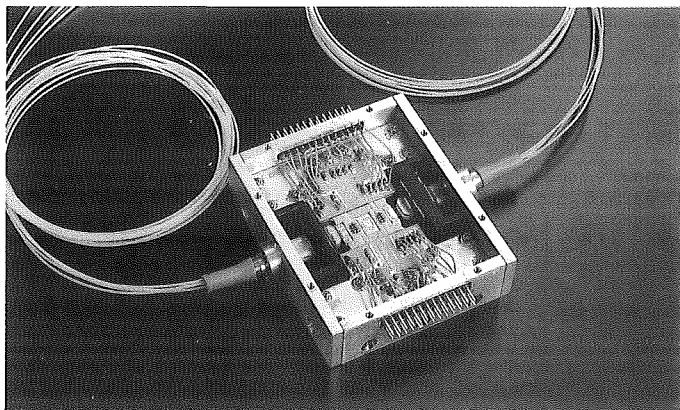
Y como último punto en este apartado queda el más significativo: la unión de la Fotónica y la Electrónica.

Del matrimonio de la Fotónica y la Electrónica

La Electrónica ha vivido sola durante muchos años. Su nacimiento significó el dominio de esta tecnología sobre casi todas las otras existentes hasta entonces y todo, a partir de entonces, pasó a referirse de forma constante a ella.

Pero parecía que no era bueno que la Electrónica estuviese sola. Era necesario darle una ayuda semejante a ella. Y esta ayuda no fue otra que la Fotónica. Con la miniaturización de la Microelectrónica se hizo patente algo que hasta entonces había quedado oculto por el contexto en el que se había movido todo. Si todo se reducía, también era necesario reducir el cableado. Y así surgieron, por ejemplo, las interconexiones mediante fibra óptica de terminales de ordenador.

Pero ahí no podía quedar todo. El tema se extendió a las interconexiones ópticas entre tarjetas de



Cortesía Fujitsu.

un mismo equipo. Y luego entre componentes de una misma tarjeta. Y finalmente, y en esto se está ahora, a las uniones de chip con chip e, incluso, de componentes dentro de un mismo chip. Ambas tecnologías, la Electrónica y la Fotónica han resultado beneficiadas de este hecho porque se ha demostrado que no son rivales sino que son parte de un único todo. Cada una tiene su papel pero ambos lo son de una misma obra. Obra que se extiende a todos los ámbitos de actuación porque si aquí se ha señalado el caso de las interconexiones, en la mente de todos está la Optoelectrónica Integrada que ya fue comentada hace algunos números. No seguiremos más en esta escena porque ya es bien conocida por todos.

A modo de conclusiones finales

La Fotónica aún no ha llegado a su madurez. Ya hemos visto que las tecnologías que la componen están todavía desarrollándose por senderos de contornos no muy delimitados. Sus aplicaciones fueron, en algunos casos, previstas desde casi el nacimiento del láser pero, en otros, todavía están por precisar. El mercado de la Fotónica está creándose en estos momentos y nadie puede prever adónde puede llegar. Aunque en algunas franjas ya hay clara ventaja por parte de industrias o de laboratorios de investigación, sobre el tapete quedan aún muchas cartas por jugar. Pero para poder participar en esa partida es preciso, por un lado, tener las ideas muy claras de hasta dónde se puede llegar y, por otro, tener en mente un abanico más o menos amplio de posibles salidas por si falla la jugada prevista. Aquí, como en tantos otros sectores, no se puede decir el eterno «paso», porque en la siguiente ronda es posible que ya no queden cartas o las que queden sean de perdedor. Es preferible pasarle una señal a algún compañero de mesa e intentar jugar juntos. O retirarse a tiempo. Aunque esta retirada pueda suponer, a priori, no que se eviten posteriores pérdidas, sino que ya se cuenta con que en el futuro se va a seguir pagando aunque no se participe en la partida. Porque con toda seguridad, la Fotónica dominará un gran número de campos en el próximo futuro y, bien como proveedores o bien como compradores, todos habremos de contar con ella. Este es un hecho que debería de hacernos reflexionar aunque, en la situación en que nos encontramos, quizás sería más atinado soñar que reflexionar. Y más si seguimos los consejos de Hölderlin cuando decía «El hombre es un dios cuando sueña y un mendigo cuando reflexiona» [8]. La Fotónica nos invita a soñar a todos, pero, a pesar de Hölderlin, con un sueño reflexivo.

- [2] F. Scott Fitzgerald, «The Great Gatsby». Penguin. 1984.
- [3] A.J. DeMaria, «Photonics vs. electronics technologies». Optics News. April. 22-37 (1989).
- [4] Laser Focus World. Enero, 95-114 (1989).
- [5] Laser Focus World. Febrero, 55-56 (1989).
- [6] Laser Focus World. Febrero, 139-144 (1989).
- [7] J.A. Martín-Pereda, «Comunicaciones Ópticas. Situación y perspectivas». Mundo Electrónico. 195, 63-72 (1989).
- [8] F. Hölderlin, «Hiperión o el eremita en Grecia». Hiperión. 1985.

José Antonio Martín Pereda. Catedrático del Departamento de Tecnología Fotónica de la Universidad Politécnica de Madrid, ha participado, como miembro del comité técnico, en todas las *European Conference on Optical Communications (ECOC)* que se han celebrado desde 1984, siendo el presidente de dicho comité en la de 1986. Participa también, como miembro del comité técnico, en las *Integrated Optics and Optical Communications (IOOC)* que tienen lugar bianualmente. Ha sido, asimismo, presidente de las *Jornadas de Comunicaciones Ópticas* celebradas en 1985 y en 1988 en Madrid.

Bibliografía

- [1] I. Calvino, «Seis propuestas para el próximo Milenio». Siruela, Madrid, 1989.